

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4403406号
(P4403406)

(45) 発行日 平成22年1月27日(2010.1.27)

(24) 登録日 平成21年11月13日(2009.11.13)

(51) Int.Cl.		F I	
GO 1 L	1/04	(2006.01)	GO 1 L 1/04
GO 1 L	1/18	(2006.01)	GO 1 L 1/18 A
GO 1 L	1/14	(2006.01)	GO 1 L 1/14 J
GO 1 L	5/00	(2006.01)	GO 1 L 5/00 Z

請求項の数 12 (全 16 頁)

(21) 出願番号	特願2005-13878 (P2005-13878)	(73) 特許権者	393031586
(22) 出願日	平成17年1月21日(2005.1.21)		株式会社国際電気通信基礎技術研究所
(65) 公開番号	特開2006-201061 (P2006-201061A)		京都府相楽郡精華町光台二丁目2番地2
(43) 公開日	平成18年8月3日(2006.8.3)	(74) 代理人	100107641
審査請求日	平成19年3月19日(2007.3.19)		弁理士 鎌田 耕一
	(出願人による申告)平成16年度独立行政法人情報通信研究機構、研究テーマ「自律分散型無線ネットワークの研究開発」に関する委託研究、産業活力再生特別措置法第30条の適用を受ける特許出願	(74) 代理人	100115152
	特許権者において、実施許諾の用意がある。		弁理士 黒田 茂
		(72) 発明者	ホセ マリア サナルディ オカンボ
			京都府相楽郡精華町光台二丁目2番地2
		(72) 発明者	野間 春生
			京都府相楽郡精華町光台二丁目2番地2
			株式会社国際電気通信基礎技術研究所内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 触覚センサおよびそれを用いた触覚センサユニット

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

基板と前記基板の上に配置された被膜とを含み、前記被膜に加えられた力を検出する触覚センサであって、

前記基板の上に前記基板側から順に配置された第1および第2の層を含む積層部と、前記第1および第2の層を前記第2の層側に曲げることによって形成された起立部と、前記起立部の変形を検出するための検出手段とを含み、

前記積層部および前記起立部は、それぞれ、互いに格子定数が異なる複数の層を含み、前記第1および第2の層は、前記複数の層における格子定数の差によって生じた力によって曲げられており、

前記起立部と前記被膜とが接触しており、

前記被膜に力が増えらることによって前記起立部が変形する触覚センサ。

【請求項2】

前記検出手段は、前記起立部に形成されたピエゾ抵抗素子を含む請求項1に記載の触覚センサ。

【請求項3】

前記積層部と前記起立部との境界に位置する第1の折り曲げ部において、前記第1および第2の層が前記第2の層側に折り曲げられており、

前記検出手段は、前記第1の折り曲げ部に形成されたピエゾ抵抗素子を含む請求項1に記載の触覚センサ。

【請求項 4】

前記積層部と前記起立部との境界に位置する第 1 の折り曲げ部と、前記起立部中の第 2 の折り曲げ部とにおいて、前記第 1 および第 2 の層が前記第 2 の層側に折り曲げられており、

前記起立部は、前記第 2 の折り曲げ部によって前記基板の表面と対向するように配置された対向部を含み、

前記検出手段は、互いに対向するように前記基板上と前記対向部上とに配置された第 1 および第 2 の電極を含み、

前記第 1 の電極と前記第 2 の電極との間の静電容量の変化に基づいて前記起立部の変形が検出される請求項 1 に記載の触覚センサ。

10

【請求項 5】

前記起立部は、第 3 の折り曲げ部において前記第 1 および第 2 の層を前記第 1 の層側に折り曲げることによって形成された先端部を含み、

前記先端部が前記被膜と接触している請求項 4 に記載の触覚センサ。

【請求項 6】

前記起立部は、前記起立部に接触する前記被膜の移動に応じて前記基板上をスライドするスライド部を含み、

前記検出手段は、互いに対向するように前記基板上と前記スライド部上とに配置された第 1 および第 2 の電極を含み、

前記第 1 の電極と前記第 2 の電極との間の静電容量の変化に基づいて前記起立部の変形が検出される請求項 1 に記載の触覚センサ。

20

【請求項 7】

前記被膜がエラストマーからなる請求項 1 ~ 6 のいずれか 1 項に記載の触覚センサ。

【請求項 8】

基板と前記基板の上に配置された被膜とを含み、前記被膜に加えられた力を検出する触覚センサであって、

前記基板上に形成された起立部と、前記起立部の変形を検出するための検出手段とを含み、

前記起立部と前記被膜とが接触しており、

前記被膜に力が加えられることによって前記起立部が変形する触覚センサ。

30

【請求項 9】

前記基板上に形成された積層部を含み、

前記起立部は、前記積層部を構成する層の少なくとも一部を折り曲げることによって形成されている請求項 8 に記載の触覚センサ。

【請求項 10】

前記検出手段は、前記積層部と前記起立部との境界に位置する折り曲げ部に形成された piezo 抵抗素子である請求項 9 に記載の触覚センサ。

【請求項 11】

前記検出手段は、互いに対向するように前記基板上と前記起立部上とに配置された第 1 および第 2 の電極を含み、

前記第 1 の電極と前記第 2 の電極との間の静電容量の変化に基づいて前記起立部の変形が検出される請求項 8 に記載の触覚センサ。

40

【請求項 12】

複数の触覚センサを含む触覚センサユニットであって、

前記触覚センサが請求項 1 ~ 11 のいずれか 1 項に記載の触覚センサである触覚センサユニット。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、触覚センサおよびそれを用いた触覚センサユニットに関する。

50

【背景技術】

【0002】

触覚センサは、ロボットの手や、対象物の表面形状を検出するセンサとして用いられている。近年、センサに加えられた力の方向を検出する触覚センサも提案されている（たとえば特許文献1）。このセンサは、基板と、基板表面と平行になるように基板の上方に配置された支持部材と、基板上および支持部材上とに配置された2つの電極とを備える。そして、2つの電極間の静電容量に基づいてセンサに加えられた力を検出する。

【特許文献1】特開2004-264172号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

10

【0003】

しかしながら、従来のセンサは、センサが形成されている基板の表面と平行な方向の力に対する感度が十分ではなかった。また、触覚センサを覆うようにエラストマーなどの弾性体が形成されている場合、その弾性体に加わった力を感度よく検出することが容易ではなかった。

【0004】

このような状況を考慮し、本発明は、従来の触覚センサとは全く異なる新規な構造を有する触覚センサ、およびそれを用いた触覚センサユニットを提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0005】

20

上記目的を達成するため、本発明の触覚センサは、基板と前記基板の上に配置された被膜とを含み、前記被膜に加えられた力を検出する触覚センサであって、前記基板の上に前記基板側から順に配置された第1および第2の層を含む積層部と、前記第1および第2の層を前記第2の層側に曲げることによって形成された起立部と、前記起立部の変形を検出するための検出手段とを含み、前記積層部および前記起立部は、それぞれ、互いに格子定数が異なる複数の層を含み、前記第1および第2の層は、前記複数の層における格子定数の差によって生じた力によって曲げられており、前記起立部と前記被膜とが接触しており、前記被膜に力が加えられることによって前記起立部が変形する。

【0006】

なお、この明細書において、所定の物体の「上に積層」または「上に配置」とは、物体の上に直接積層（または配置）されている場合に加え、物体の上に他の層や空間を介して積層（または配置）されている場合を含む意味である。

30

【0007】

また、本発明の他の触覚センサは、基板と前記基板の上に配置された被膜とを含み、前記被膜に加えられた力を検出する触覚センサであって、前記基板上に形成された起立部と、前記起立部の変形を検出するための検出手段とを含み、前記起立部と前記被膜とが接触しており、前記被膜に力が加えられることによって前記起立部が変形する。

また、本発明の触覚センサユニットは、複数の触覚センサを含む触覚センサユニットであって、その触覚センサが上記本発明の触覚センサである。

【発明の効果】

40

【0008】

本発明によれば、被膜に加えられた力を検出できる触覚センサが得られる。この触覚センサによれば、被膜に加えられた力の大きさおよび方向を検出することが可能である。また、この触覚センサによれば、基板の表面に平行な方向に加えられた力と、基板の表面に垂直な方向に加えられた力とを検出できる。この触覚センサは、基板から立ち上がった起立部の変形を検出することによって被膜に加えられた力を検出するため、従来の触覚センサとは異なり、基板表面に平行な方向に加えられた力を高分解能で検出できる。また、ロボットハンドの先端などにこの触覚センサを用いることによって、器用に物を持ったり、握手などの動作をさせたりすることも可能である。

【0009】

50

本発明の触覚センサを複数個組み合わせることによって、被膜に加えられた力の方向を2次元または3次元で検出できる。このような触覚センサを複数個含む本発明のセンサユニットは、任意の面積の外圧を検出することが可能である。特に、本発明の触覚センサおよびそれを用いたセンサユニットは、微小なセンサを形成できる、複数のセンサを高密度に配置できる、3次元方向の力を検出できる、といった特徴を有する。

【発明を実施するための最良の形態】

【0010】

本発明の触覚センサは、基板と基板（および積層部）の上に配置された被膜とを含み、被膜に加えられた力を検出する触覚センサであって、基板の上に基板側から順に配置された第1および第2の層を含む積層部と、第1および第2の層を第2の層側に曲げるこ
10

【0011】

本発明の触覚センサでは、起立部の変形を検出手段で検出することによって、被膜に加えられた力を検出できる。検出手段は、基板上（積層部上）および起立部上に形成された2つの電極間の静電容量に基づいて起立部の変形を検出してもよい。なお、この場合、それぞれの電極は、複数の電極によって構成された電極群であってもよい。電極群を用いるこ
20

【0012】

基板は、その上に形成される積層部に応じて選択される。たとえば、Siを含む半導体層で積層部が構成される場合には、Si基板を用いることができる。また、積層部がIII-V族化合物半導体を主要な層として含む場合には、GaAs基板などを用いるこ
30

【0013】

積層部は、格子定数が異なる材料からなる複数の層を含む。それらの層の格子定数の差によって層内に生じる歪み（内部応力）によって、積層部を構成する層の少なくとも一部が折り曲げられ、起立部が形成されている。格子定数が異なる複数の層は、たとえば半導体層で構成される。そのような層の組み合わせとしては、たとえば、Si層とSiGe層との組み合わせや、組成および/または組成比が異なるIII-V族化合物半導体などが挙げられる。III-V族化合物半導体の組み合わせとしては、たとえば、GaAs/InGaAs、GaAs/GaN、GaN/AlGaN、GaN/InGaNが挙げられる。
40

【0014】

格子定数が大きい層Aと格子定数が小さい層Bとを隣接させると、層Bに曲がろうとする内部応力が発生する。また、格子定数が大きい層Aと格子定数が小さい層Bとを、厚い層A/層B/薄い層Aというように積層させると、厚い層Aが層Bに及ぼす応力の方が薄い層Aが層Bに及ぼす応力よりも大きいため、トータルでは薄い層A側に曲がろうとする応力が発生する。同様に、厚い層B/層A/薄い層Bという積層膜では、トータルでは厚い層B側に曲がろうとする応力が発生する。このような関係を利用して、積層された複数の層を所定の方向に折り曲げることができる。

【0015】

積層部の一部を基板から分離して起立部を形成するため、基板と積層部との間には、選択的に除去される層（犠牲層）が形成される。積層部がSiを含む半導体で形成される場
50

合、犠牲層は、たとえば SiO_2 で形成できる。また、積層部がIII-V族化合物半導体で形成される場合には、犠牲層は、たとえば $Al_{0.5}Ga_{0.5}As$ と $AlAs$ とを交互に複数層積層した膜で形成できる。

【0016】

被膜は、通常、積層部および起立部を覆うように形成される。起立部と基板との間は、被膜で充填されていてもよいし、空間であってもよい。被膜は、被膜に加えられた力によって変形する材料で形成され、通常は弾性体である。被膜の材料、被膜の厚さ、素子の形状や大きさは、センサに求められる用途に応じて選択される。

【0017】

本発明の触覚センサでは、検出手段は、起立部に形成されたピエゾ抵抗素子を含んでもよい。この構成では、ピエゾ抵抗素子の抵抗値をモニタすることによって起立部の変形を検出できる。

10

【0018】

本発明の触覚センサでは、積層部と起立部との境界に位置する第1の折り曲げ部において、第1および第2の層が第2の層側に折り曲げられており、検出手段は、第1の折り曲げ部に形成されたピエゾ抵抗素子を含んでもよい。この構成では、ピエゾ抵抗素子の抵抗値をモニタすることによって起立部の変形（傾き）を検出できる。

【0019】

本発明の触覚センサでは、積層部と起立部との境界に位置する第1の折り曲げ部と、起立部中の第2の折り曲げ部とにおいて、第1および第2の層が第2の層側に折り曲げられており、起立部は、第2の折り曲げ部によって基板の表面と対向するように配置された対向部を含み、検出手段は、互いに対向するように基板上（積層部上）と対向部上とに配置された第1および第2の電極を含み、第1の電極と第2の電極との間の静電容量の変化に基づいて起立部の変形が検出されてもよい。この場合、起立部は、第3の折り曲げ部において第1および第2の層を第1の層側に折り曲げることによって形成された先端部を含み、先端部が被膜と接触していてもよい。この構成では、被膜に加えられた力を先端部によって感度よく検出できる。

20

【0020】

本発明の触覚センサでは、起立部は、起立部に接触する被膜の移動に応じて基板上（積層部上）をスライドするスライド部を含み、検出手段は、互いに対向するように基板上（積層部上）とスライド部上とに配置された第1および第2の電極を含み、第1の電極と第2の電極との間の静電容量の変化に基づいて起立部の変形が検出されてもよい。スライド部は、たとえば、積層部と起立部との境界に位置する第1の折り曲げ部と、起立部中の第2および第3の折り曲げ部とで第1および第2の層を折り曲げることによって形成できる。

30

【0021】

本発明の触覚センサでは、被膜がエラストマーからなるものであってもよい。エラストマーの好ましい一例は、シリコーンゴムである。シリコーンゴムの硬度（JIS-A硬度）は、たとえば20~80である。硬化前のシリコーンゴムの粘度は、たとえば1~500 Pa·sである。なお、被膜は、被膜に加えられた力に応じて変形し、その力を起立部に伝えるものであればよい。したがって、被膜は、樹脂やポリマーで形成されてもよい。

40

【0022】

また、被膜は、多層構造を有してもよい。たとえば、基板に近いほど柔らかい材料（たとえば低密度のシリコーンゴム）で形成し、表面に近いほど硬い材料（たとえば高密度のシリコーンゴム）で形成してもよい。

【0023】

本発明の触覚センサユニットは、本発明の触覚センサを複数個含む。複数のセンサは、必要に応じて所定の位置および所定の方向に配置される。たとえば、複数個の触覚センサを線状に配置してもよいし、2次元的に配置してもよい。また、複数個の触覚センサを同一の向きに配置してもよいし、向きを変えて配置してもよい。また、基板表面に水平な方

50

向に加わる力の検出に適している触覚センサと、基板表面に垂直な方向に加わる力の検出に適している触覚センサを組み合わせてもよい。

【0024】

本発明の触覚センサ（またはセンサユニット）は、外圧を認識する装置として様々な分野に適用できる。たとえば、通路や階段に埋め込んで、その上を移動する物を認識するセンサとして用いてもよい。また、物体の外形や凹凸を認識するセンサとして用いてもよい。本発明の触覚センサは、半導体プロセスを用いて微小なセンサを高密度に形成できるため、触覚センサユニットを、指紋や手相といった微小な凹凸を認識するセンサとして用いることも可能である。また、機械の操作部（たとえば自動車のステアリング）などに埋め込んで、操縦者の状態を判断するためのセンサとして用いてもよい。また、工業用ロボットのロボットハンドやヒューマノイド型ロボットの人工皮膚に用いられるセンサとして用いてもよい。また、義手や義足の触覚センサとして用いてもよい。

10

【0025】

以下、本発明の実施形態について例を挙げて説明する。なお、以下の説明では、同様の部分に同一の符号を付して重複する説明を省略する場合がある。また、以下の図面では、理解を容易にするため、被膜などの図示を省略する場合がある。

【0026】

（実施形態1）

本発明の触覚センサの一例について、その形状を模式的に示す斜視図を図1(a)に示し、断面図を図1(b)に示す。図1の触覚センサ100は、基板101と、基板101上に形成されたSiO₂層121および積層部102と、起立部103と、被膜104（図1(a)では図示せず）とを備える。

20

【0027】

基板101は、シリコン基板である。積層部102は、基板101側から順に積層されたSiGe層122（厚さ20nm）およびアンドープのSi層123（厚さ340nm）を含む。起立部103は、SiGe層（第1の層）122とSi層（第2の層）123とをSi層123側に折り曲げることによって形成されている。SiGe層122はSi層123よりも格子定数が大きいいため、これらの層は内部の歪みによって基板101から離れる方向に曲がっている。

【0028】

起立部103は、SiGe層122およびSi層123を曲げることによって形成されており、U字状の形状を有する。起立部103のSi層123上には、ポロンドープのp-Si層124が形成されている。U字状のp-Si層124の両端は、それぞれ、積層部102上に形成された電極125および126に接続されている。p-Si層124は、 piezo抵抗素子として機能し、起立部103の変形によって抵抗が変化する。すなわち、p-Si層124は、起立部103の変形を検出する検出手段として機能する。

30

【0029】

被膜104は、たとえばシリコーンゴムで形成される。被膜104は、積層部102および起立部103を覆うように、および基板101と起立部103との間を充填するように形成される。なお、基板101と起立部103との間は空洞であってもよい。

40

【0030】

被膜104が押されると、被膜104に生じるせん断力によって起立部103が変形し、p-Si層124の抵抗値が変化する。この抵抗値は、被膜104が押される方向によって増加または減少する。たとえば、図1(b)の方向Aの力と方向Bの力とでは、p-Si層124が曲がる方向が異なるため、抵抗値の変化の方向（増加または減少）が反対となる。そのため、p-Si層124の抵抗値の変化の方向（増加または減少）と、変化の大きさを測定することによって、被膜104が押す力の方向と大きさを推定できる。

【0031】

（実施形態2）

50

本発明の触覚センサの他の一例について、その形状を模式的に示す斜視図を図2(a)に示し、断面図を図2(b)に示す。図2の触覚センサ200は、基板101と、基板101上に形成されたSiO₂層221(厚さ400nm)および積層部202と、起立部203と、被膜104(図2(a)では図示せず)とを備える。

【0032】

積層部202は、基板101側から順に積層されたSi層222(厚さ100nm)、SiGe層223(厚さ30nm、Ge量21原子%)、Si層224(厚さ200nm)、SiGe層225(厚さ30nm、Ge量21原子%)、およびSi層226(厚さ100nm)を含む。

【0033】

起立部203は、積層部202と起立部203との境界に位置する第1の折り曲げ部231においてSi層(第1の層)222およびSiGe層(第2の層)223(およびSi層224)を、SiGe層223側に折り曲げることによって形成されている。起立部203は、たとえば、基板表面に対してほぼ垂直になるように形成される。第1の折り曲げ部231には、ピエゾ抵抗素子(ストレインゲージ)232が形成されている。ピエゾ抵抗素子232は、たとえばp形Siなどの公知の材料で形成できる。

【0034】

被膜104は、起立部203を覆うように形成されている。被膜104に力が加えられると、起立部203が変形し、折り曲げ部231に形成されたピエゾ抵抗素子232の抵抗が変化する。この抵抗の変化から、被膜104に加えられた力の大きさおよび方向を検出できる。

【0035】

(実施形態3)

本発明の触覚センサの他の一例について、その形状を模式的に示す斜視図を図3(a)に示す。図3(a)には、2つの触覚センサ300が対向するように配置された例を示す。また、1つの触覚センサ300の断面図を図3(b)に示す。触覚センサ300は、基板101と、基板101上に形成されたSiO₂層221および積層部202と、起立部303と、被膜104(図示せず)とを備える。

【0036】

積層部202は、実施形態2で説明した積層部202と同じ構造を有する。Si層(第1の層)222およびSiGe層(第2の層)223は、積層部202と起立部303との境界に位置する第1の折り曲げ部331と、起立部303中の第2の折り曲げ部332において、SiGe層223側に約90°に折り曲げられている(谷折り)。起立部303は、第2の折り曲げ部332によって基板101の表面と対向するように配向された対向部303aを含む。

【0037】

また、起立部303は、第3の折り曲げ部333においてSi層222およびSiGe層223をSi層222側に約90°折り曲げる(山折り)ことによって形成された先端部303bを含む。先端部303bは、基板101の表面に対してほぼ垂直に配置されている。なお、先端部303bは省略してもよい。

【0038】

触覚センサ300の検出手段は、互いに対向するように積層部202上と対向部303a上とに形成された第1および第2の電極341および342を含む。2つの電極は、導電性材料(たとえばAuのような金属)で形成できる。

【0039】

被膜104は、少なくとも、起立部303のSi層222の表面と接触するように配置される。被膜104は、積層部202と対向部303aとの間を充填するように配置されてもよいが、両者の間は空間であってもよい。図3(a)のように複数の触覚センサ300を対向するように配置し、粘度が高い被膜材料を用いることによって、積層部202と対向部303aとの間を空間とすることが可能である。

10

20

30

40

50

【0040】

被膜104に力が加えられると、起立部303が変形する。被膜104に加えられた力の方向に応じて、第2の電極342は、基板101の表面に対して平行な方向(図3(b)のA方向)または垂直な方向(図3(b)のB方向)に移動する。その結果、第1の電極341と第2の電極342との間の静電容量が変化する。この静電容量の変化をモニタすることによって、被膜104に加えられた力を検出できる。なお、第1の電極341と第2の電極342の少なくとも一方の電極を分割し、複数の短冊状の電極としてもよい(実施形態4の電極においても同様である)。短冊状の電極を図3(b)のA方向に並べることによって、平行な方向の移動による容量の変化と、垂直な方向の移動による容量の変化とを分離しやすくなる。また、平行な方向の移動による容量の変化についても、移動の方向の判断が容易になる。

10

【0041】

(実施形態4)

本発明の触覚センサの他の一例について、その主要部の形状を模式的に示す斜視図を図4(a)に示す。図4(a)の触覚センサ400は、基板101と、基板101上に形成されたSiO₂層221および積層部202と、起立部403と、カバー440(図5に示す)と、被膜104(図示せず)とを備える。触覚センサ400の起立部403の一部断面図を図4(b)に示す。

【0042】

積層部202は、実施形態2で説明した積層部202と同じ構造を有する。Si層222およびSiGe層223(およびSi層224)の一部は、第1の折り曲げ部431と第2の折り曲げ部432とにおいて、SiGe層223側に折り曲げられている。また、Si層222およびSiGe層223の一部は、第3の折り曲げ部433においてSi層222側に折り曲げられている。起立部403は、Si層222およびSiGe層223が折り曲げられることによって形成されたスライド部403aを含む。スライド部403aは、起立部403に接触する被膜104の移動に応じて積層部202上をスライドする。

20

【0043】

被膜104は、スライド部403aが基板101上を移動できるように、第2の折り曲げ部432からスライド部403aにはできるだけ接触しないように形成される。そのため、図5に示すように、触覚センサ400は、スライド部403aを覆うように配置されたカバー440を備える。カバー440は、3つの折り曲げ部において、Si層222およびSiGe層223をSiGe層223側に折り曲げることによって形成できる。被膜104の材料として粘度が高いものを用いることによって、スライド部403aに被膜104が付着することを防止できる。

30

【0044】

触覚センサ400の検出手段は、互いに対向するように積層部202上とスライド部403a上に形成された第1および第2の電極441および442を含む。2つの電極は、導電性材料(たとえばAuのような金属)で形成できる。2つの電極が短絡しないように、電極の表面には、たとえばSiO₂からなる誘電体層443を形成する。

40

【0045】

被膜104に力が加わると、起立部403が変形し、スライド部403aがスライドする。その結果、第1の電極441と第2の電極442との間の静電容量が変化する。この静電容量の変化をモニタすることによって、被膜104に加わった力を検出できる。

【0046】

(実施形態5)

本発明の触覚センサユニットの一例の上面図を図6に示す。図6の触覚センサユニット500は、方向が90°ずつずれるように配置された4つの触覚センサ300と、それらの触覚センサ300から得られる情報を処理するマイコン(マイクロコンピュータ)501とを備える。マイコン501には、電源供給ラインと、ネットワーク接続用のラインと

50

が接続されている。触覚センサ300はSi基板上に形成されているため、マイコン501を同一基板上に形成することが可能である。触覚センサ300とマイコン501とを結ぶ配線(図示せず)は、半導体プロセスで形成できる。

【0047】

触覚センサユニット500によれば、図6に示すように、2軸のせん断力と押圧力とを検出できる。このような触覚センサユニット500は、単独で用いてもよいし、複数をマトリックス状に配置して用いてもよい。

【0048】

触覚センサユニット500をマトリックス状に配置した一例を図7に示す。図7の触覚センサユニット600は、マトリックス状に配置された複数の触覚センサユニット500を含む。各触覚センサユニット500からの出力は、それらの情報を集約するマイコン601に入力される。マイコン601で集約された情報は、さらに上位の計算機へ出力される。触覚センサユニット600に含まれる複数の触覚センサユニット500は、1つの基板上に同時に形成することが可能である。

【0049】

なお、図6および図7では、触覚センサ300を用いた触覚センサユニットについて説明したが、本発明の触覚センサであれば、どのセンサを用いてもよい。触覚センサ300の代わりに触覚センサ200を用いた場合の2つの例の斜視図を、図8(a)および図8(b)に模式的に示す。図8(a)のセンサユニットは、異なる方向に向けて配置された4つの触覚センサ200を含む。また、図8(b)のセンサユニットは、同一の方向に向けて配置された複数の触覚センサ200を含む。

【0050】

本発明の触覚センサユニットは、触覚センサを備える義手や義足、および触覚センサを備えるロボットの人工皮膚に用いることが可能である。また、触覚センサユニットは、ハンドル、階段、通路などに埋め込んで、人の動きを感知・予測する装置の一部として用いることもできる。また、触覚センサユニットは、その上に置かれた物体の形状や輪郭を認識する装置として用いることもできる。たとえば、図9(a)に示すように複数の触覚センサ300が押圧を検出した場合、隣接する4つの触覚センサ300が押圧を検出している触覚センサの出力を除去する演算を行うことによって、図9(b)に示すように、物体の輪郭を認識できる。

【0051】

(触覚センサの製造方法)

本発明の触覚センサは、半導体素子の製造に用いられている公知の方法を組み合わせることで形成できる。以下、触覚センサ300を例に挙げて製造方法の一例を説明する。製造工程を図10(a)~(f)に示す。なお、図10(a)、(c)および(e)は上面図であり、図10(b)、(d)および(f)はそれらに対応する断面図である。

【0052】

まず、Si単結晶からなる基板101(厚さ400 μ m)上に、SiO₂層221(厚さ400nm)およびSi層(厚さ20nm)が形成されたSOI基板((100)面)を用意する。この基板上に、Si層(厚さ80nm)をエピタキシャル成長させて、Si層222(厚さ100nm)を形成する。次に、SiGe層223、Si層224、SiGe層225、およびSi層226を順次エピタキシャル成長させ、積層部202を形成する。エピタキシャル成長は、通常の条件で行うことができる。たとえば、基板温度550、成長速度60nm/hの条件で行うことができる。また、Geはクヌーセンセルで供給してもよく、SiはEB蒸着で供給してもよい。

【0053】

このようにして、図10(a)および(b)に示すように、基板101上に多層膜を形成する。次に、図10(c)および(d)に示すように、多層膜の一部をエッチングして、3種類の溝11、12および13を形成する。それらの溝は、フォトリソグラフィとエッチングとを組み合わせることによって形成できる。溝11は、第1および第2の折り

曲げ部 331 および 332 (図 3 (b) 参照) に対応する位置に形成される。溝 11 は、Si 層 226 と SiGe 層 225 とをエッチングすることによって形成できる。溝 12 は、第 3 の折り曲げ部 333 (図 3 (b) 参照) に対応する位置に形成される。溝 12 は、Si 層 226、SiGe 層 225 および Si 層 224 をエッチングすることによって形成できる。溝 13 は、積層部 202 を切り出して起立部 303 を形成するための溝である。溝 13 は、SiO₂ 層 221 に到達するように形成される。溝 13 は、Si 層 226、SiGe 層 225、Si 層 224、SiGe 層 223 および Si 層 222 をエッチングすることによって形成できる。Si 層は、たとえば NH₃ 水溶液でエッチングできる。また、SiGe 層は、たとえば HF / H₂O₂ / CH₃COOH の混合水溶液でエッチングできる。また、溝 13 を形成する場合には、Si 層および SiGe 層を HF / HNO₃ / CH₃COOH の混合水溶液でエッチングしてもよい。

10

【0054】

次に、Si 層 226 上の所定の位置に、第 1 および第 2 の電極 341 および 342 を形成する。このとき、電極に接続された配線 (図示せず) も形成する。これらの電極および配線は、蒸着法などの公知の方法で形成できる。

【0055】

次に、起立部 303 となる部分に対応する位置に存在する SiO₂ 層 221 を除去する。SiO₂ 層 221 の除去は、溝 13 を介してウェットエッチングで行うことができる。エッチング液には、たとえばフッ酸 (HF 水溶液) を用いることができる。起立部 303 となる部分の下方に存在する SiO₂ 層 221 を除去すると、3 つの折れ曲がり部で半導体層が折れ曲がる。

20

【0056】

溝 11 の部分では、SiGe 層 223 が、それよりも格子定数が小さい 2 つの Si 層 222 (厚さ 100 nm) と Si 層 224 (厚さ 200 nm) とで挟まれている。したがって、厚い Si 層 224 が SiGe 223 に及ぼす応力は、薄い Si 層 222 が SiGe 層 223 に及ぼす応力よりも大きく、そのために、それらの 3 つの層は Si 層 224 側に折れ曲がる。一方、溝 12 の部分では、Si 層 222 および SiGe 層 223 のみが存在するため、それら 2 つの層が Si 層 222 側に折れ曲がる。このようにして、3 つの箇所半導体層が折り曲げられ、図 3 に示すような起立部 303 が形成される。

【0057】

30

次に、基板 101 および起立部 303 を覆うように被膜 104 を形成する。被膜 104 は、たとえば、被膜 104 の材料を基板 101 上に塗布したのち、その材料を硬化させることによって形成できる。被膜 104 の材料は、スピンコート法のような公知の方法で塗布できる。被膜 104 の材料の硬化の方法は、その材料に応じて選択される。このようにして触覚センサ 300 が形成される。

【0058】

なお、触覚センサ 300 以外の他の触覚センサも、同様の方法で形成できる。触覚センサ 100、200 および 400 を形成する場合の溝のパターンを、それぞれ、図 11 (a)、(b) および (c) に示す。図 11 (a) において、溝 13 は、SiO₂ 層まで到達する溝である。なお、図 11 (b) では、第 1 の折り曲げ部に幅が狭い 2 本の溝 11 を形成しているが、幅が広い 1 本の溝 11 としてもよい。

40

【0059】

上記製造方法によれば、複数の触覚センサを同一基板上に同時に形成することが可能であり、本発明の触覚センサユニットを容易に製造できる。なお、上記製造方法は一例であり、本発明の触覚センサは他の方法で形成してもよい。たとえば、基板上の各層は、その層に応じて、蒸着法、CVD 法、その他の各種エピタキシャル法で形成できる。また、折り曲げ部に形成される溝を形成する際のエッチング法は、積層部を構成する半導体層に応じて任意の方法を適用できる。

【0060】

上記実施形態では、Si 層と SiGe 層とを積層した多層膜を用いる例について説明し

50

たが、III - V族化合物半導体を用いても同様のセンサを形成できる。なお、折れ曲がり部の角度は、半導体層の厚さや組成、溝の幅によって制御できる。たとえば、 $\text{In}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{As}$ 層と GaAs 層とで構成された折れ曲がり部の場合、 GaAs 層の曲率半径は、通常、以下の式で近似される。

$$R = (a / a) \cdot \{ (t_1 + t_2) / 2 \}$$

【0061】

ここで、 a は GaAs 層の格子定数であり、 5.6533 オングストロームである。また、 a は、 $\text{In}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{As}$ 層の格子定数(5.7343 オングストローム)と GaAs 層の格子定数との差である。また、 t_1 は $\text{In}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{As}$ 層の厚さ(単位:オングストローム)であり、 t_2 は GaAs 層の厚さ(単位:オングストローム)である。

10

【0062】

以上、本発明の実施形態について例を挙げて説明したが、本発明は上記実施形態に限定されず、本発明の技術的思想に基づいて他の実施形態に適用できる。

【産業上の利用可能性】

【0063】

本発明の触覚センサおよびそれを用いたセンサユニットは、外圧を感知するセンサとして様々な分野に適用できる。

【図面の簡単な説明】

【0064】

【図1】本発明の触覚センサの一例を模式的に示す(a)斜視図および(b)断面図である。

20

【図2】本発明の触覚センサの他の一例を模式的に示す(a)斜視図および(b)断面図である。

【図3】本発明の触覚センサのその他の一例を模式的に示す(a)斜視図および(b)断面図である。

【図4】本発明の触覚センサのその他の一例の一部を模式的に示す(a)斜視図および(b)断面図である。

【図5】図4の触覚センサの構造を模式的に示す斜視図である。

【図6】本発明の触覚センサユニットの一例を模式的に示す上面図である。

【図7】本発明の触覚センサユニットの他の一例を模式的に示す上面図である。

30

【図8】本発明の触覚センサユニットの他の例を模式的に示す斜視図である。

【図9】本発明の触覚センサユニットを用いて物体の外形を認識する方法を示す図である。

【図10】本発明の触覚センサの製造方法の一例を模式的に示す断面図である。

【図11】本発明の触覚センサの製造方法の他の例を模式的に示す上面図である。

【符号の説明】

【0065】

11、12、13 溝

100、200、300、400 触覚センサ

101 基板

40

102、202 積層部

103、203、303、403 起立部

104 被膜

121、221 SiO_2 層

122、223、225 SiGe 層

123、222、224、226 Si 層

124 p-Si層(ピエゾ抵抗素子)

231、331、332、333、431、432、433 折り曲げ部

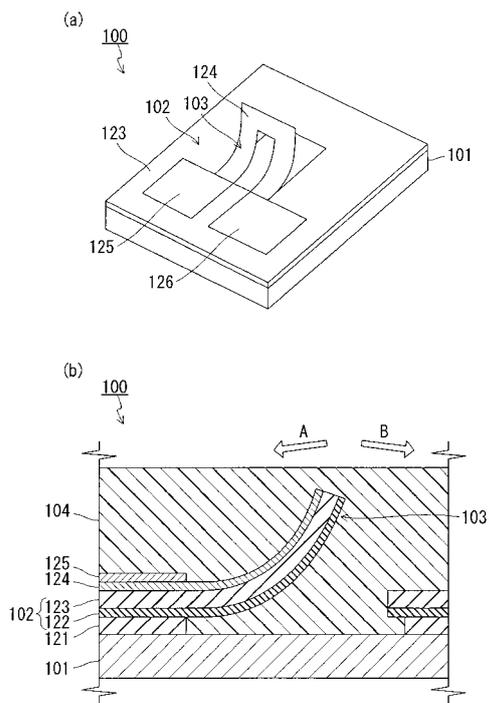
232 ピエゾ抵抗素子

303a 対向部

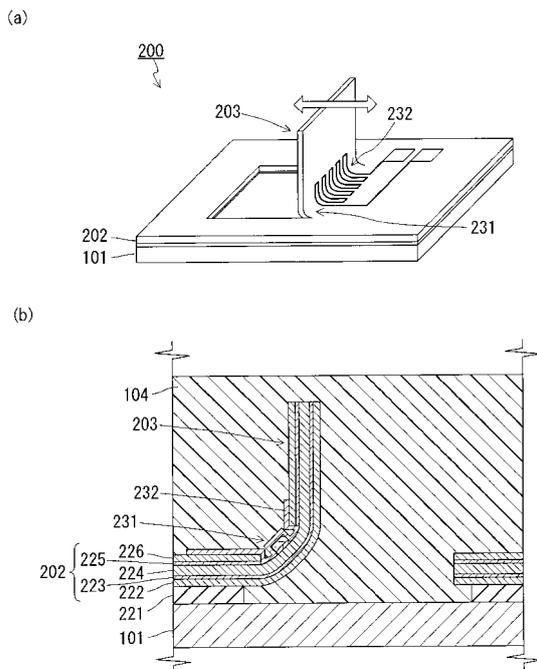
50

- 3 0 3 b 先端部
- 3 4 1、3 4 2、4 4 1、4 4 2 電極（検出手段）
- 4 0 3 a スライド部
- 4 4 0 カバー
- 4 4 3 誘電体層
- 5 0 0、6 0 0 触覚センサユニット
- 5 0 1、6 0 1 マイコン

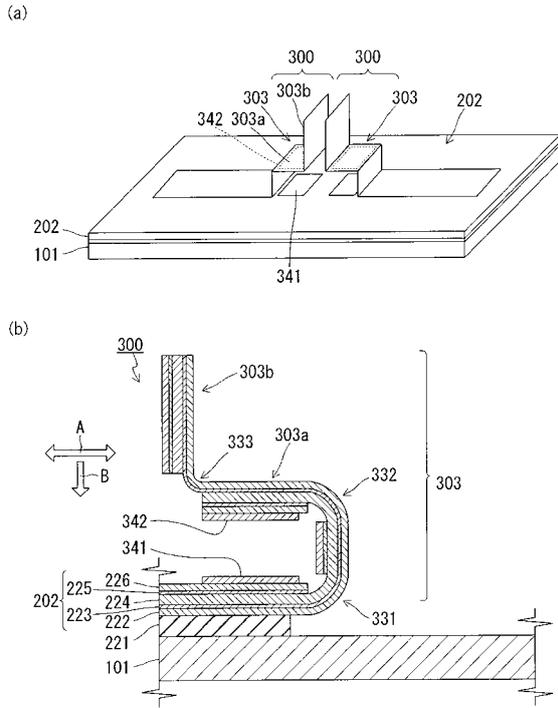
【図 1】



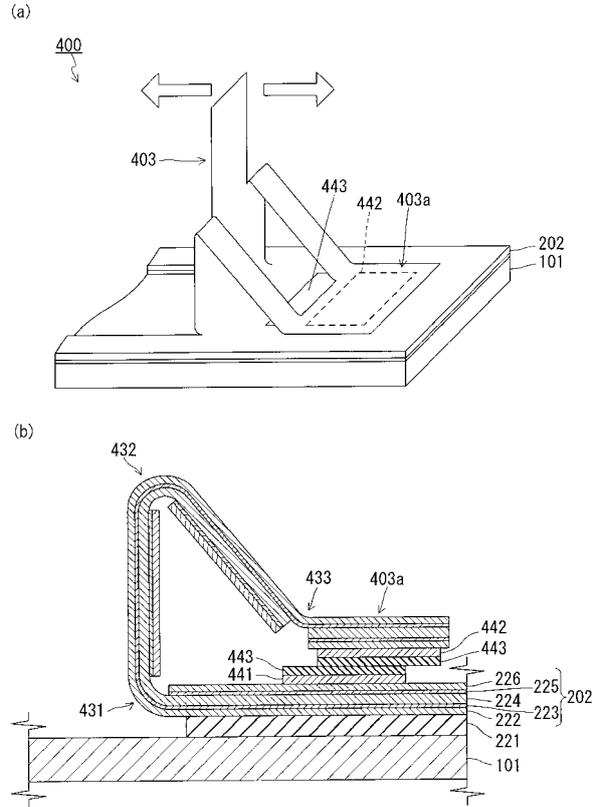
【図 2】



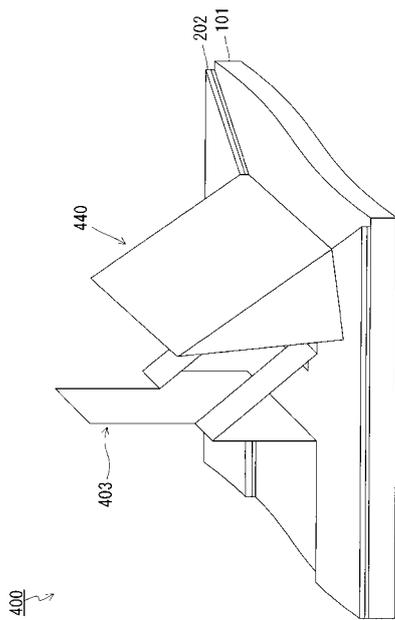
【図3】



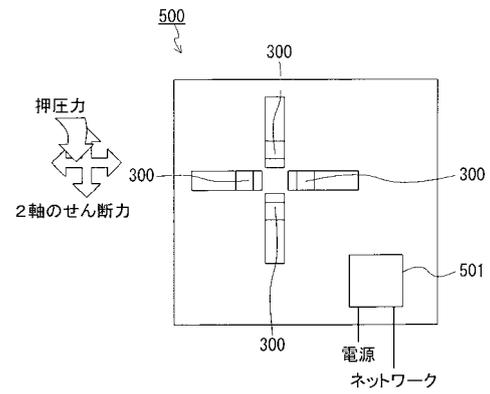
【図4】



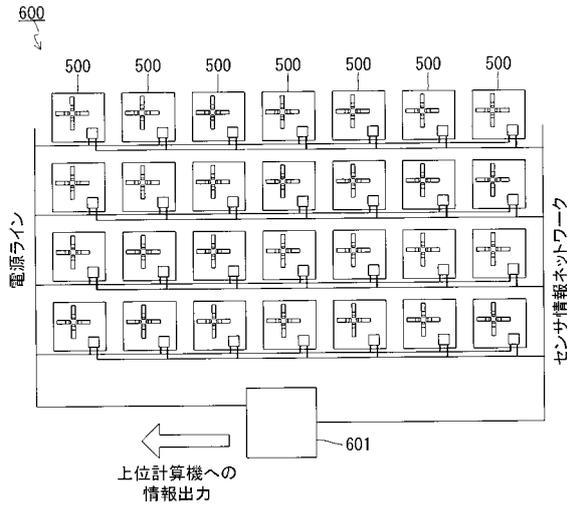
【図5】



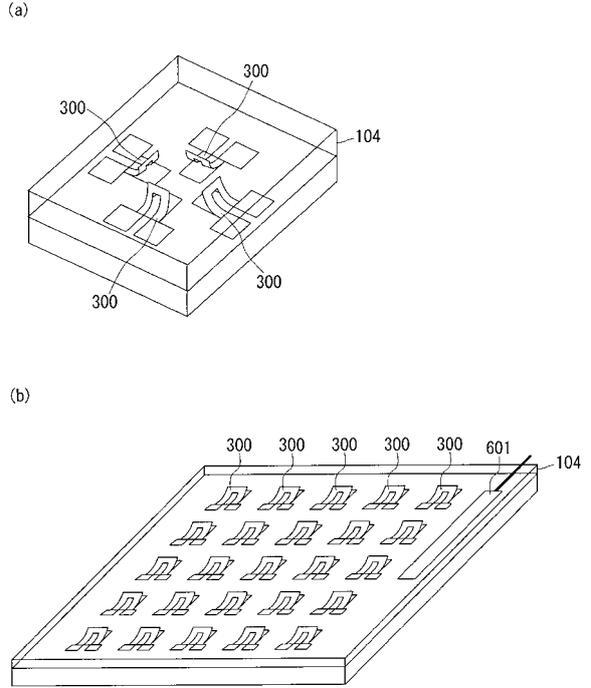
【図6】



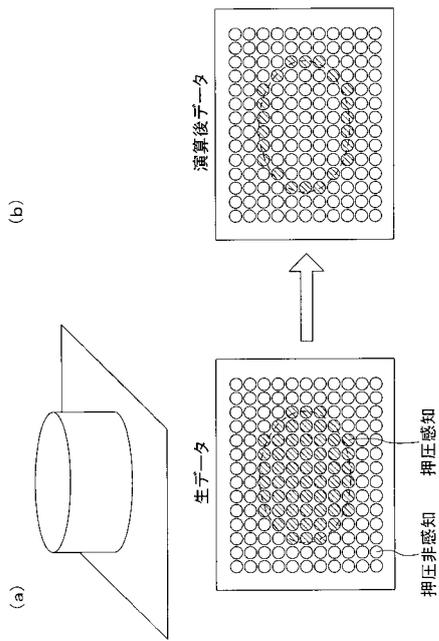
【図7】



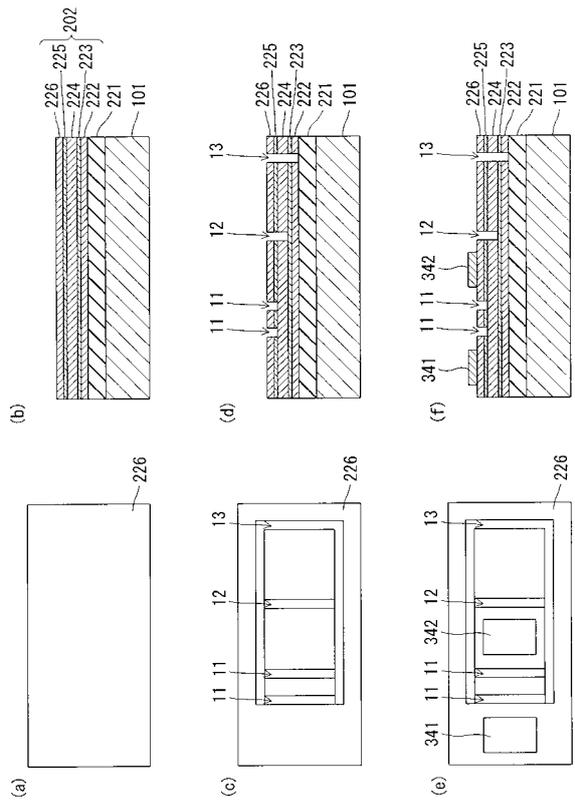
【図8】



【図9】

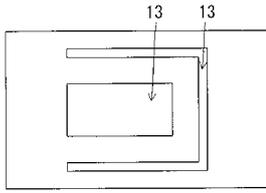


【図10】

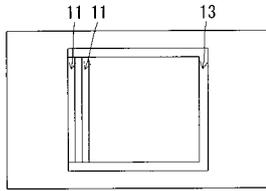


【 図 1 1 】

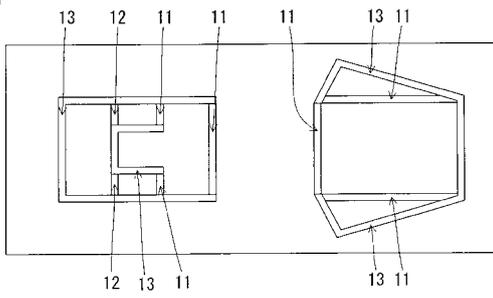
(a)



(b)



(c)



フロントページの続き

- (72)発明者 パプロ バッカロ
京都府相楽郡精華町光台二丁目2番地2 株式会社国際電気通信基礎技術研究所内
- (72)発明者 小暮 潔
京都府相楽郡精華町光台二丁目2番地2 株式会社国際電気通信基礎技術研究所内
- (72)発明者 斎藤 信雄
京都府相楽郡精華町光台二丁目2番地2 株式会社国際電気通信基礎技術研究所内

審査官 松浦 久夫

- (56)参考文献 特開昭63-154926(JP,A)
特開昭60-034295(JP,A)
特開昭63-174375(JP,A)
特開2004-304193(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01L 1/04
G01L 1/14
G01L 1/18
G01L 5/00